Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 4, Winter 2023, p. 747-761

The Effect of Different Levels of Indole-3-butyric Acid (IBA) and Naphthaleneacetic Acid (NAA) on the Rooting of Pear Stem Cutting

B. Kaviani[1*], M. Jamali[2], M.R. Safari Motlagh[3], A.R. Eslami[4]

Received: 20-07-2020
Revised: 05-05-2021
Accepted: 05-06-2021
Available Online: 30-01-2023

How to cite this article:
Kaviani, B., Jamali, M., Safari Motlagh, M.R., & Eslami, A.R. (2023). The Effect of Different Levels of Indole-3-butyric Acid (IBA) and Naphthaleneacetic Acid (NAA) on the Rooting of Pear Stem Cutting. *Journal of Horticultural Science 36*(4): 747-761. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/jhs.2021.61925.0

Introduction

Pears have a high nutritional and economic value worldwide. One of the major problem in growing pear cultivars is their late fertility on seed bases. To solve this problem, using asexual propagation methods can lead to the production of root trees. Cuttings are commonly used for proliferation either softwood, semi-hardwood or hardwood. Clonal propagation is considered proper in rapid propagation of shrubs and trees species. Adventitious root formation in stem cuttings is a crucial physiological process for vegetative propagation of many plant species. Rooting ability of tree species through stem cuttings is affected by several factors particularly plant growth regulators. Rooting of pear stem cuttings is time consuming. Auxin is effective in stimulating root formation on cuttings. The most widely used auxins in rooting of stem cuttings are indole-3-butyric acid (IBA) and naphtaleneacetic acid (NAA). Of these two auxins, IBA is the most widely used root promoting chemical, because it is nontoxic over a wide range of concentrations. Applied concentration is an important factor. Typically, a concentration of 2000 to 4000 ppm will result in good rooting for most shrubs and trees.

Materials and Methods

In this experiment, pear (*Pyrus communis*) was used as mother plants. Stem cuttings were used as plant materials in this experiment. The effect of different levels of indolebutyric acid (IBA) and naphthalene acetic acid (NAA) was studied on the rooting of pears in a factorial experiment based on a randomized complete block design with 16 treatments and 4 replications. The experimental treatments included IBA and NAA at the rates of 0, 1000, 2000 or 4000 mg L^{-1}. Rooting percentage, rooting time, root number, root length, root volume, plant height, leaf number and fresh and dry weights of cuttings were measured after about 130 days.

Results and Discussion

The results showed that the highest rooting (3.56 per seedling) was observed in cuttings treated with 4000 mg L^{-1} IBA. Also, the highest root number was obtained from the treatment of 1000 mg L^{-1} NAA and 2000 mg L^{-1} IBA with an average number of 0.16 roots per plant. According to the means comparison for the simple effect of IBA on the rooting time, the highest rooting time was related to the application of 4000 mg L^{-1} IBA. The results revealed that plants treated with 4000 mg L^{-1} NAA and 2000 mg L^{-1} IBA grew the longest roots. Also, ANOVA showed that among the applied factors, only the simple effect of IBA was significant on root volume. Means comparison for the simple effect of IBA on root volume showed that the highest was related to the application of 2000 mg L^{-1} IBA. According to the means comparison for the interactive effect of IBA × NAA on cutting fresh weight, the highest fresh weight was, on average, 8.36 g in plants treated with 4000 mg L^{-1} NAA and 2000 mg L^{-1} IBA. As well, means comparison the effect of IBA × NAA on cutting dry weight showed that the highest dry weight was 15.9 g related to the application of 4000 mg L^{-1} NAA × 2000 mg L^{-1} IBA. It was also observed that 2000 mg L^{-1} NAA × 1000 mg L^{-1} IBA was related to the longest cutting with an average length of

1, 2 and 4- Associate Professor, M.Sc. and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: kaviani@iaurasht.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Plant Protection, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

2.82 cm. Finally, plants treated with 4000 mg L^{-1} NAA and 2000 mg L^{-1} IBA produced the highest number of leaves (15.9 g, on average). One of the effective factors in the success of vegetative propagation of plants with stem cuttings, especially woody plants with hard-rooting stems, is the production of more roots in a short time. Plant growth regulators, including auxins, play an important role in this regard. The effect of auxins on the percentage and number of roots produced on stem cuttings has been shown by many researchers on various plants, including plants with hard-rooting cuttings particularly in trees. The most widely used auxins in this regard are IBA and NAA, respectively. The individual or combined effect of auxins for successful rooting depends on a number of factors, including plant type, cuttings type, cuttings size, cuttings age, and the time of year the cuttings were removed. In the present study, the combined effect of IBA and NAA had the greatest effect on most of the measured traits.

Keywords: Auxin, Fruit plants, Hardwood cuttings, Plant growth regulators, Rosaceae family

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص. ۷۶۱-۷۴۷

تأثیر سطوح مختلف ایندول بوتیریک اسید (IBA) و نفتالین استیک اسید (NAA) روی ریشه‌زایی قلمه ساقه گلابی

بهزاد کاویانی[1]*- مریم جمالی[2]- محمدرضا صفری مطلق[3]- علی‌رضا اسلامی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۵

چکیده

گلابی یک درخت چوب سخت است که اغلب از بذر رشد می‌کند. تکثیر از طریق بذر زمان‌بر است و احتمال تغییرات ژنتیکی را افزایش می‌دهد. مناسب‌ترین روش تکثیر گلابی، استفاده از قلمه ساقه می باشد که سخت ریشه‌زا است. در این پژوهش از غلظت‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول بوتیریک اسید (IBA) و نفتالین استیک اسید (NAA) برای تسهیل ریشه‌زایی قلمه ساقه گلابی رقم 'بارتلت' استفاده شد. نتایج نشان داد که کمترین زمان (۵۹ روز) تا شروع ریشه‌زایی قلمه‌ها و بیشترین تعداد ریشه (۱۶) در قلمه‌های تیمارشده با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌دست آمد. این تیمار به عنوان بهترین تیمار برای ریشه‌زایی قلمه ساقه گلابی پیشنهاد می‌شود. بالاترین درصد ریشه‌زایی (۵۷/۶۶ درصد) در قلمه‌های تیمارشده با ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌دست آمد. بیشترین تعداد برگ (۹/۹۳) در قلمه‌های تیمارشده با ۲۰۰۰ میلی‌گرم NAA همراه با ۴۰۰۰ میلی‌گرم IBA مشاهده شد. در این پژوهش؛ حجم ریشه، طول ریشه، ارتفاع قلمه و وزن تر و وزن خشک قلمه‌ها نیز اندازه‌گیری شد.

واژه‌های کلیدی: اکسین، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، خانواده گل‌سرخیان، قلمه‌های خشبی، گیاهان میوه

مقدمه

گلابی (*Pyrus communis*) از خانواده گل‌سرخیان (Rosaceae) یکی از مهم‌ترین میوه‌های مناطق با آب و هوای معتدله به‌حساب می‌آید که به‌سبب طعم مناسب و ارزش اقتصادی بالای آن، سال‌های زیادی است که در ایران پرورش می‌یابد. یکی از مشکلات عمده پرورش ارقام گلابی، دیرباروری آنها روی پایه‌های بذری است. همچنین گلابی به خاک‌های قلیایی حساسیت دارد و استقرار مناسبی ندارد. از آنجایی‌که بیشتر مناطق ایران که مستعد کاشت گلابی می‌باشند دارای خاک‌های قلیایی هستند در نتیجه محدودیت بیشتری در تولید این محصول در ایران ایجاد شده است. همچنین ناسازگاری‌هایی نیز در انواع نهال‌های پیوندی دیده شده است. لذا برای رفع این مشکلات به‌کارگیری روش‌های ازدیاد غیرجنسی می‌تواند منجر به تولید درختان خود ریشه گردد (Vatandoost Jartoodeh *et al.*, 2011). تکثیر گیاه به‌وسیله قلمه یکی از گسترده‌ترین و بهترین روش‌های تکثیر غیرجنسی می‌باشد.

اکسین در تحریک تشکیل ریشه روی قلمه‌ها موثر است. به‌کارگیری اکسین به‌صورت طبیعی یا مصنوعی لازمه‌ی تشکیل ریشه‌ی نابجا روی ساقه است (Khoshkhoi, 1999). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در ارتقای ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان از دیرباز رایج بوده است. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی تمام مراحل رشد و نمو گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهند. استفاده از هورمون‌های اکسینی در انواع و غلظت‌های مختلف دست‌یابی به حداکثر ریشه‌زایی را امکان‌پذیر می‌سازد. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند نفتالین اسید استیک (NAA) و ایندول بوتیریک اسید (IBA) از

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانشیار، کارشناس ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: kaviani@iaurasht.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه گیاه‌پزشکی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
DOI: 10.22067/jhs.2021.61925.0

موثرترین هورمون‌های اکسینی مورد استفاده برای ریشه‌زایی هستند (Hartmann *et al.*, 1997; Davidović *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2014).

بلازیچ (Blazich, 1989)، IBA و NAA را معمول‌ترین اکسین‌هایی که به‌صورت تجارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، معرفی کرد. بیازی و همکاران (Biasi *et al.*, 1990)، فری و همکاران (Ferri *et al.*, 1996) و کنگی و همکاران (Cangi *et al.*, 2001)، اثر سطوح مختلف هورمون IBA را بر ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی و چوب نرم کیوی بررسی کردند و بهترین نتیجه را در تیمار ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آوردند. اوکلر و همکاران (Ucler *et al.*, 2004)، تیمار ۸۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به مدت ۱۵ ثانیه و بدون زخم‌زنی را بهترین تیمار برای ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی کیوی فروت بیان نمودند. کروین (Kroin, 1992)، نشان داد که IBA با غلظت‌های مختلف دارای بیشترین تاثیر بر میانگین طول ریشه‌های قلمه‌های نوئل می‌باشد. بلایت و همکاران (Blythe *et al.*, 2004)، غلظت‌های مختلف IBA و NAA روی ریشه‌زایی قلمه‌های کاملیا (*Camellia Japonica*) را بررسی نمودند و مشاهده کردند که تیمارهای ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA همراه با ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر NAA و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA موجب افزایش ۸۱-۷۷ درصدی ریشه‌زایی قلمه‌ها شدند. حداد (Hadad, 2000)، اثر طول قلمه و غلظت‌های مختلف IBA بر ریشه‌زایی قلمه‌های درختچه‌ی کاملیای زینتی را مورد بررسی قرار داد و نشان داد که قلمه واجد یک برگ-جوانه تحت تیمار ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA بیشترین ریشه‌زایی را به‌همراه داشت. هاشم‌آبادی و صداقت‌حور (Hashemabadi and Sedaghathoor, 200) با بررسی چهار سطح از غلظت‌های IBA و NAA و تاثیر آنها روی صفاتی از قبیل درصد ریشه‌زایی، درصد ماده خشک ریشه، طول ریشه و تعداد ریشه کاملیای زینتی به این نتیجه رسیدند که از بین تیمارها، بهترین تیماری که منجر به تولید تعداد ریشه‌های مطلوب شد، تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA و تیماری که بلندترین ریشه‌ها را تولید کرد، تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA همراه با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA بود. از مقادیر IBA، تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین درصد ریشه‌زایی را به‌همراه داشت، حال آن‌که اثر دوجانبه ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌همراه ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA موثرترین تیمار بود. رمضانی و همکاران (Ramezani *et al.*, 2005)، تاثیر برخی عوامل موثر در ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی ارقام سخت ریشه‌زای زیتون را بررسی کردند که بیشترین درصد ریشه‌زایی را تحت تیمار هورمون IBA با غلظت ۴۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آوردند. معلمی و چهرازی (Moallemi and Chehrazi, 2004)، تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشدی NAA و IBA و ترکیبی از آنها را بر ریشه‌زایی قلمه‌های برگ‌دار و بدون برگ گل کاغذی در فصل بهار مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که قلمه‌های برگ‌دار که با IBA در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تیمار شدند با ۹۰ درصد بیشترین ریشه‌زایی را داشتند. زرین‌بال و همکاران (Zarinbal *et al.*, 2005)، قلمه‌های نیمه‌خشبی و برگ‌دار دارابی را در غلظت‌های مختلف IBA و NAA مورد تیمار قرار دادند. در این بررسی مشخص شد که قلمه‌های تیمار شده توسط NAA با غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری از درصد ریشه‌زایی بیشتری برخوردار بودند. تیمار ۲۰۰۰-۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA تیمار مناسبی برای افزایش ریشه‌زایی قلمه لیمو شیرین بود (Aboutalebi and Tafazoli, 2006). بیشترین درصد ریشه‌زایی (۲۴/۴) سه گونه نوئل زینتی در تیمار ۸۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به دست آمد (Rizi *et al.*, 2006). حداکثر طول ریشه مربوط به تیمار ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA بود. وطن‌دوست جرتوده و همکاران (Vatandoost Jartoodeh *et al.*, 2011) با بررسی اثر هورمون‌های IBA و NAA روی ریشه‌زایی سه رقم گلابی نطنز، سبزی و شکری به این نتیجه رسیدند که IBA با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در رقم نطنز به‌طور معنی‌داری موجب افزایش ریشه‌زایی، طول و تعداد ریشه در قلمه‌های سرشاخه و درصد ریشه‌زایی و طول ریشه در قلمه‌های بن شاخه نطنز گردید. بررسی اثر غلظت‌های مختلف IBA و NAA بر ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی گیاه آزالیا نشان داد که بیشترین طول ریشه در قلمه‌هایی که با غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA تیمار شدند حاصل شد (Rahdari *et al.*, 2010). مطالعه روی قلمه‌های کیوی فروت نشان داد که تیمار ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA همراه با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA بهترین تیمار برای ریشه‌زایی بود (Razaghi *et al.*, 2010). بیشترین درصد ریشه‌زایی در قلمه‌های نیمه‌خشبی گیاه رزماری مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA و ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA بود. نتایج حاصل از ارزیابی صفات کیفی در قلمه‌ها نشان داد که بهترین کیفیت قلمه‌های تولیدی مربوط به تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA بود (Shahhosseini and Shahsavar, 2017).

از آنجایی که ریشه‌زایی در قلمه ساقه گلابی سخت و زمان‌بر است، بنابراین، هدف از انجام این تحقیق، بهبود شرایط ریشه‌زایی قلمه‌های گلابی با استفاده از غلظت‌های مختلف NAA و IBA و دست‌یابی به بهترین غلظت این هورمون‌ها جهت انجام این کار بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط طبیعی و درون خاک انجام شد. نمونه‌های گیاهی گلابی (*Pyrus communis*) رقم 'بارتلت' ('Bartlett') با نام معادل 'ویلیامز' ('Williams') از باغی در روستای شهربیجار از روستاهای شهرستان رودبار تهیه شد. برای تهیه قلمه از درختان

گلابی پیوندشده روی پایه بذری به‌عنوان گیاه مادری استفاده شد. انتهای ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متری شاخه دوساله آنها به‌عنوان قلمه‌ی سرشاخه به‌کار رفت. برای ضدعفونی، قلمه‌ها به‌مدت ۲۰ ثانیه در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۵ درصد قرار داده شدند. بعد از ضدعفونی، انتهای تحتانی قلمه‌های سرشاخه به‌مدت ۱۰ ثانیه در غلظت‌های صفر، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از هورمون‌های IBA و NAA نگهداری شدند (جدول ۱) و سپس در بسترهای حاوی ماسه، پرلیت، کوکوپیت و پیت (به نسبت مساوی) کشت گردیدند. در ابتدا بستر کاشت به‌مدت ۶۰ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی-گراد ضدعفونی گردید. برای هر تیمار چهار تکرار در نظر گرفته شد و هر تکرار شامل یک مشاهده بود. نمونه‌ها در فضای باز نگهداری شدند.

جدول ۱- تیمارهای تنظیم کننده رشد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش برای ریشه زایی قلمه های گلابی رقم 'بارتلت'

Table 1- Plant growth regulater treatments used in this research for rooting of *Pyrus communis* cv. 'Bartlet' cuttings

شماره تیمار Treatment No.	IBA ($mg.l^{-1}$)	NAA ($mg.l^{-1}$)
1	0	0
2	0	1000
3	0	2000
4	0	4000
5	1000	0
6	1000	1000
7	1000	2000
8	1000	4000
9	2000	0
10	2000	1000
11	2000	2000
12	2000	4000
13	4000	0
14	4000	1000
15	4000	2000
16	4000	4000

بعد از حدود ۱۳۰روز؛ درصد ریشه‌زایی، مدت زمان تا شروع ریشه‌زایی، تعداد ریشه، طول ریشه، حجم ریشه، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و وزن تر و وزن خشک قلمه‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. صفات طولی با خط‌کش اندازه‌گیری شدند و تعداد اندام‌ها با چشم غیرمسلح شمارش شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر، قلمه‌ها بعد از برداشت روی ترازوی دیجیتال وزن شدند. سپس در آون با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۶ ساعت خشک شدند و مجدداً وزن شدند و این وزن به‌عنوان وزن خشک ثبت گردید.

این تحقیق به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه‌ی میانگین داده‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

درصد ریشه‌زایی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر IBA و NAA و اثر متقابل آنها بر درصد ریشه‌زایی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر IBA نشان داد که با افزایش غلظت IBA درصد ریشه‌زایی افزایش یافت هر چند به لحاظ آماری بین کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر NAA نیز نشان داد که فقط غلظت۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA نسبت به سطح عدم کاربرد آن (N_0) برتری معنی‌داری داشت و سایر سطوح به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با سطح عدم کاربرد NAA نشان ندادند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل IBA و NAA بر درصد ریشه‌زایی نیز نشان داد که بیشترین درصد ریشه‌زایی با میانگین ۵۶/۳ درصد از تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA بدون NAA به‌دست آمد (جدول ۵).

مطالعه روی اثر غلظت‌های مختلف IBA بر ریشه‌زایی قلمه‌های گیاه اوکالیپتوس (*Eucalyptus benthamii*) نشان داد که سریع‌ترین و بالاترین درصد ریشه‌زایی در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر این هورمون به‌دست آمد (Brondani *et al*., 2012) که مطابق با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق بود. در این تحقیق همچنین از غلظت-های ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌عنوان غلظت‌های مناسب برای ریشه‌زایی نام برده شد که با پژوهش حاضر هم‌خوانی ندارد. دلیل این امر می‌تواند اختلاف در نوع گیاه مورد آزمایش باشد. مشخص شده است که IBA القای ریشه‌های نابجا در طی تکثیر رویشی بسیاری از گیاهان را افزایش داد، اما بسته به سبک مدیریت و

مواد ژنتیکی، غلظت‌های مناسب برای به‌دست‌آمدن مقادیر ریشه‌زایی بهتر باید تنظیم شوند (Corrêa and Fett-Neto, 2004). تعادل هورمونی در گیاه نقش بسیار مهمی در تنظیم بسیاری از فعالیت‌های گیاهی از جمله ریشه‌زایی در قلمه‌ها ایفا می‌کند. بسیاری از قلمه‌ها حاوی مقادیری اکسین هستند، بنابراین کاربرد غلظت‌های بالای اکسین به‌منظور تحریک تقسیم سلولی و ریشه‌زایی، تعادل هورمونی را به‌هم زده و از ریشه‌زایی مناسب، ممانعت می‌کند (Jull *et al.*, 1994). ترکیب و شکل کاربرد اکسین‌ها نیز نقش مهمی در درصد موفقیت ریشه‌زایی دارند (Wendling and Xavier, 2005 ; Almeida *et al.*, 2007). اختلاف ژنوتیپی در این ارتباط حائز اهمیت فراوان است (Stape *et al.*, 2001; Corrêa and Fett-Neto, 2004). عوامل دیگری از جمله هیدرات‌های کربن، انتقال آنها از برگ‌ها به ریشه‌ها، ترکیبات فنلی، ترکیبات نیتروژنی و کوفاکتورها علاوه بر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، در ریشه‌زایی نقش دارند (Hartmann *et al.*, 1997 Shahhoseini *et al.*, 2015;).

در مجموع فقط در سطح عدم کاربرد NAA با افزایش کاربرد IBA درصد ریشه‌زایی به طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که در بین همه تیمارها بیشترین درصد ریشه‌زایی در سطح ۴۰۰۰ میلی‌گرم IBA در لیتر به‌دست آمد و در سطوح کاربردی NAA چنین روندی با کاربرد IBA مشاهده نشد. همچنین در سطح ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA نیز با افزایش IBA تا سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر درصد ریشه‌زایی افزایش یافت اما با افزایش کاربرد IBA از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، درصد ریشه‌زایی کاهش یافت. برتا و همکاران (Beretta *et al.*, 2004) تیمارهای ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام از هورمون IBA را مورد استفاده قرار داده و مشاهده کردند که به ازای افزایش غلظت IBA، درصد ریشه‌زایی قلمه‌های *Camellia japonica* به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. یوسفی (Yousefi, 2010) طی مطالعه خود روی ریشه‌زایی قلمه‌های زیتون در قلمه واجد یک برگ–جوانه تحت تیمار ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام IBA با ۱۰۰۰پی‌پی‌ام NAA، بیشترین درصد ریشه‌زایی را مشاهده نمود. رزاقی و همکاران (Razaghi *et al.*, 2010) با ارزیابی اثر غلظت‌های مختلف IBA و NAA بر ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی کیوی فروت کشت شده و تحت شرایط مه‌افشانی به این نتیجه رسیدند که اثر اکسین‌ها بر تعداد ریشه، وزن تر و خشک، درصد قلمه‌های ریشه‌دارشده و سرعت ریشه‌زایی معنی‌دار بود. نتایج حاصل از تیمار قلمه‌ها نشان داد که ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA همراه با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA بهترین تیمار برای ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی کیوی فروت بود. جعفری و بوزری (Jafari and Bouzari, 2010) به منظور تکثیر رویشی پایه گزیلا ۶ (Gisela 6) از قلمه چوب‌سخت در دو زمان مختلف دی و بهمن با استفاده از هورمون‌های IBA و NAA در غلظت‌های صفر، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش کردند که اثر زمان، نوع قلمه و غلظت‌های مختلف هورمون بر درصد ریشه‌زایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که بیشترین درصد ریشه‌زایی (۷۰ درصد) مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA در قسمت انتهایی قلمه‌های چوبی نیمه‌سخت در تیرماه بود. در قلمه‌های چوب‌سخت بیشترین درصد ریشه‌زایی (۴۶/۶ درصد) مربوط به تیمار ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA در قسمت ابتدایی قلمه‌های دی ماه بود. افزایش غلظت هورمون، باعث افزایش تعداد ریشه اصلی و فرعی و طول قسمت ریشه‌دار گردید و از طرفی منجر به کاهش میانگین طول ریشه اصلی و فرعی شد. نتایج بررسی شیرزاد (Shirzad, 2007) نشان داد که بهترین میزان ریشه‌زایی در انار رقم محلی جهرم از قلمه‌های سرشاخه به‌دست آمد.

زمان ریشه‌زایی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر IBA در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل IBA و NAA بر زمان ریشه‌زایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر IBA بر زمان ریشه‌زایی نشان داد که بیشترین زمان ریشه‌زایی مربوط به سطح ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر این هورمون بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر NAA بر زمان ریشه‌زایی نشان داد که بیشترین زمان ریشه‌زایی مربوط به سطح صفر میلی‌گرم در لیتر این هورمون بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل IBA و NAA بر زمان ریشه‌زایی نیز نشان داد که کوتاه‌ترین زمان ریشه‌زایی در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌همراه ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌دست آمد و طولانی‌ترین زمان نیز در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌همراه ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA مشاهده شد (جدول ۵).

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی تمام مراحل رشد و نمو گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهند. استفاده مناسب از هورمون‌های اکسینی در انواع و غلظت‌های مختلف دستیابی به حداکثر ریشه‌زایی در کوتاه‌ترین زمان ممکن را مقدور می‌سازد. تنظیم‌کننده‌های رشد NAA و IBA بیشترین هورمون‌های اکسینی مورد استفاده برای کوتاه‌کردن مدت زمان لازم برای ریشه‌زایی هستند (Hartmann *et al.*, 1997 ; Singh *et al.*, 2014; Davidović *et al.*, 2015). در بیشتر مطالعات انجام شده روی ریشه‌زایی و کیفیت ریشه تولیدی در قلمه‌ی گیاهان مختلف، تنظیم‌کننده رشدی IBA نسبت به NAA مؤثرتر بود (Biabani and Shekafandeh, Habibi Kootenaee, 2010 ; 2011) که با نتایج تحقیق حاضر سازگاری داشت.

تعداد ریشه

مقایسه میانگین اثر IBA بر تعداد ریشه نشان داد که گیاهان تیمارشده با این هورمون نسبت به گیاهان شاهد (I_0) برتری معنی‌داری داشتند و بیشترین تعداد ریشه مربوط به سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA بود و سطوح ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر NAA بر تعداد ریشه نشان داد که گیاهان تیمار شده با NAA نسبت به گیاهان شاهد (I_0) برتری معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل IBA و NAA بر تعداد ریشه نیز نشان داد که بیشترین تعداد ریشه مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌همراه ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA با میانگین ۱۶ ریشه در گیاه، به‌دست آمد و تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌همراه ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA در مرتبه بعدی قرار داشت (جدول ۵). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر IBA و اثر متقابل IBA و NAA بر تعداد ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج برخی تحقیقات نشان داد که در مورد انواع گیاهان سخت‌ریشه‌زا بایستی از سطوح بالاتر IBA نسبت به NAA استفاده کرد (Denaxa *et al.*, 2012). IBA هورمونی است که در غلظت‌های بالا غیرسمی بوده و اثر آن ثابت شده است (Ozelbaykal and Gezerel, 2005). همچنین، آنزیم ایندول استیک اسید اکسیداز نمی‌تواند IBA را تجزیه کند و در اینجا نیز اثر مثبت آن نسبت به NAA مشخص می‌شود. ابوطالبی و تفضلی (Aboutalebi and Tafazoli, 2006) ضمن به‌دست‌آوردن نتایج مشابه، گزارش کردند که استفاده از هورمون‌های اکسینی مانند IBA و ایندول استیک اسید (IAA) در زمان ریشه‌زایی مانع اکسیده‌شدن ترکیبات فنولی و نیز شکسته‌شدن اکسین‌ها شد و این امر باعث بهبود ریشه‌زایی در قلمه‌های لیمو شیرین گردید و تعداد ریشه‌های نابجا را افزایش داد. یکی از مهم‌ترین نقش‌های اکسین‌ها در گیاهان، تحریک تشکیل ریشه‌های نابجا است که اکسین‌ها این نقش را با تحریک تقسیم سلولی ایفا می‌نمایند. بنابراین یکی از مزایای استفاده از اکسین‌ها، افزایش تعداد ریشه در قلمه‌ها به‌ویژه قلمه‌های سخت‌ریشه‌زا است (Hashemabadi and Sedaghathoor, 2006).

طول ریشه

جدول ۲ نشان داد که اثر IBA و اثر متقابل IBA و NAA بر طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر IBA بر طول ریشه نشان داد که اگرچه سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA بلندترین ریشه را تولید کرد اما به لحاظ آماری با سطح ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت، ضمن آن‌که سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA با سطح عدم کاربرد این هورمون (I_0) نیز به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر NAA بر طول ریشه نشان داد اگرچه سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA بلندترین ریشه را تولید کرد اما به لحاظ آماری با سایر سطوح کاربردی آن اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل این دو هورمون بر طول ریشه نشان داد که بلندترین ریشه در تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA مشاهده شد. نکته مورد توجه این است که تیمار صفر میلی‌گرم در لیتر NAA به‌همراه ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA یعنی زمانی که بالاترین سطح کاربرد IBA با عدم کاربرد NAA همراه شد از نظر طول ریشه در مرتبه بعدی قرار داشت (جدول ۵).

نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر با نتایج راهداری و همکاران (Rahdari *et al.*, 2010) هم‌سو بود. این محققان نیز بهترین طول ریشه گیاه آزالیا را در هنگام به‌کارگیری غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA مشاهده کردند. این در حالی است که شاه‌حسینی و شهسوار (Shahhosseini and Shahsavar, 2017) در بررسی تاثیر IBA بر ریشه‌زایی گیاه خرما، بیشترین طول ریشه را در سطح ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش نمودند. به‌طور کلی علت اثر مثبت این دو تنظیم‌کننده رشد بر ریشه‌زایی را می‌توان به تأثیر اکسین‌ها در تحریک تقسیم سلولی دانست (Copes and Mandel, 2000). کاربرد غلظت‌های بالای NAA و IBA موجب ظهور ریشه‌های قطور و کوتاه بدون انشعاب در آگاو می‌گردد (Hedayat and Abdi, 2007).

حجم ریشه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در میان فاکتورهای به‌کار برده شده در این آزمایش فقط اثر IBA برحجم ریشه معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر IBA برحجم ریشه نشان داد که اگرچه سطح ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین حجم ریشه را تولید کرد اما به لحاظ آماری با سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر این هورمون اختلاف معنی‌داری نشان نداد، ضمن آن‌که سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA با سطح عدم کاربرد آن (I_0) به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر NAA بر حجم ریشه نشان داد که اگرچه سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA بیشترین حجم ریشه را تولید کرد اما به لحاظ آماری با سایر سطوح هورمون ذکرشده اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۸)، مقایسه میانگین اثر متقابل IBA و NAA بر طول ریشه نشان داد که بیشترین حجم ریشه در تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA مشاهده شد و پس از آن تیمار ۴۰۰۰

میلی‌گرم IBA و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA قرار داشت که با تیمار قبلی اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین حجم ریشه در تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA بدون حضور IBA مشاهده گردید (جدول ۹).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف IBA و NAA بر درصد ریشه‌زایی، زمان ریشه‌زایی، تعداد ریشه و طول ریشه قلمه‌های گلابی رقم 'بارتلت'

Table 2– The ANOVA results for the effect of different levels of IBA and NAA on rooting percentage, rooting time, root number and root length of *Pyrus communis* cv. 'Bartlet' cuttings

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	طول ریشه Root length	تعداد ریشه Root number	زمان ریشه‌زایی Rooting time	درصد ریشه‌زایی Rooting percentage
تکرار Replication	1	33.50^{ns}	0.645^{ns}	198.00^{ns}	3.14^{ns}
ایندول بوتیریک اسید IBA (I)	3	170.00**	5.85**	1180.00**	785.00**
نفتالین استیک اسید NAA (N)	3	2.38^{ns}	0.687^{ns}	20.52^{ns}	74.02**
I × N	9	131.00**	1.89**	258.00*	111.20**
خطا Error	30	26.70	0.268	94.30	11.90
ضریب تغییرات C.V (%)	-	13.04	3.56	12.80	9.11

** و * به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد. ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

** and *: Significant at the 1% and 5% of probability levels, respectively and ns: Non-significant.

جدول ۳- اثر سطوح مختلف IBA بر درصد ریشه‌زایی، زمان ریشه‌زایی، تعداد ریشه و طول ریشه قلمه‌های گلابی رقم 'بارتلت'

Table 3– The effect of different levels of IBA on rooting percentage, rooting time, root number and root length of *Pyrus communis* cv. 'Bartlet' cuttings

ایندول بوتیریک اسید IBA (mg.l^{-1})	طول ریشه Root length (cm)	تعداد ریشه Root number	زمان ریشه‌زایی Rooting time (day)	درصد ریشه‌زایی Rooting percentage
0	36.25b	13.58c	68.25c	30.75c
1000	36.83b	14.75b	76.50b	32.66c
2000	44.08a	15.25a	79.75b	39.33b
4000	41.50a	14.50b	87.75a	48.66a

حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD را نشان می‌دهد.

In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5% of probability level based on LSD test..

جدول ۴- اثر سطوح مختلف NAA بر درصد ریشه‌زایی، زمان ریشه‌زایی، تعداد ریشه و طول ریشه قلمه‌های گلابی رقم 'بارتلت'

Table 4– The effect of different levels of NAA on rooting percentage, rooting time, root number and root length of *Pyrus communis* cv. 'Bartlet' cuttings

نفتالین استیک اسید NAA (mg.l^{-1})	طول ریشه Root length (cm)	تعداد ریشه Root number	زمان ریشه‌زایی Rooting time (day)	درصد ریشه‌زایی Rooting percentage
0	39.08a	14.25a	77.91a	37.00b
1000	39.66a	14.50a	74.66a	35.91b
2000	40.16a	14.83a	74.50a	37.00b
4000	39.75a	14.50a	75.16a	41.50a

حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD را نشان می‌دهد.

In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5% of probability level based on LSD test..

جدول ۵- اثر متقابل سطوح مختلف NAA × IBA بر درصد ریشه‌زایی، زمان ریشه‌زایی، تعداد ریشه و طول ریشه قلمه‌های گلابی رقم 'بارتلت'

Table 5– The interaction effect of the different levels of NAA ×IBA on measured traits of *Pyrus communis* cv. 'Bartlet' cuttings

نفتالین استیک اسید × ایندول بوتیریک اسید NAA × IBA (mg.l^{-1})	طول ریشه Root length (cm)	تعداد ریشه Root number	زمان ریشه‌زایی Rooting time (day)	درصد ریشه‌زایی Rooting percentage
I_0N_0	35.60cdef	13.33g	91.00ab	20.33g
I_0N_{1000}	39.00cde	13.33g	63.00ef	33.33ef
I_0N_{2000}	41.00bcd	14.00efg	71.00def	33.00ef
I_0N_{4000}	29.30f	13.66fg	74.66bcde	36.33de
$I_{1000}N_0$	39.00cde	14.33def	79.33bcd	30.33f
$I_{1000}N_{100}$	31.30ef	15.33abc	96.66a	29.00f
$I_{1000}N_{2000}$	37.30cdef	15.66ab	76.33bcde	33.33ef
$I_{1000}N_{4000}$	39.60cde	13.66fg	65.66def	38.00de
$I_{2000}N_0$	32.60def	14.33def	64.66def	39.66cd
$I_{2000}N_{1000}$	48.60ab	16.00a	59.00f	36.66de
$I_{2000}N_{2000}$	44.00abc	15.00bcd	74.00bcde	34.00def
$I_{2000}N_{4000}$	51.00a	15.66ab	69.33def	47.00b
$I_{4000}N_0$	49.00ab	15.00bcd	91.33ab	57.66a
$I_{4000}N_{1000}$	39.60cde	13.33g	80.00bcd	44.66bc
$I_{4000}N_{2000}$	38.30cde	14.66cde	88.66abc	47.66b
$I_{4000}N_{4000}$	39.00cde	15.00bcd	64.33def	44.66bc

حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD را نشان می‌دهد.

In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5% of probability level based on LSD test.

رمضانی و همکاران (Ramezani *et al*., 2005)، تاثیر برخی عوامل موثر در ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی ارقام سخت ریشه‌زای زیتون را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین درصد ریشه‌زایی در تیمار IBA با غلظت ۴۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. بیازی و همکاران (Biasi *et al*., 1990)، فری و همکاران (Ferri *et al*., 1996) و کنگی و همکاران (Cangi *et al*., 2001)، اثر سطوح مختلف هورمون IBA را بر ریشه‌زایی قلمه‌های نیمه‌خشبی و چوب نرم کیوی بررسی کردند و بهترین نتیجه را در تیمار ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آوردند که در همه موارد ذکرشده هورمون IBA روی حجم و تعداد ریشه موثر بود که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت داشتند.

وزن تر قلمه

با نگاهی به جدول ۷ آشکار می‌شود که یشترین وزن تر قلمه در سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌دست آمد. گیاهان تیمارشده با سطوح مختلف NAA نسبت به گیاهان شاهد برتری معنی‌داری داشتند اما بیشترین وزن تر قلمه از کمترین سطح کاربرد این هورمون یعنی۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌دست آمد (جدول ۸). مقایسه میانگین اثر متقابل IBA و NAA بر وزن تر قلمه نیز نشان داد که بیشترین وزن تر گیاهچه با میانگین ۳۶/۸ گرم از تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌دست آمد (جدول ۹). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر IBA و NAA و اثر متقابل این دو هورمون بر وزن تر قلمه معنی‌دار بود (جدول ۶).

هم‌زمان با تحریک ریشه‌زایی توسط اکسین‌ها، انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ به سوی ریشه‌ها باعث افزایش درصد ماده خشک در ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود. آنچه مسلم است اثر بازدارندگی غلظت‌های بالای اکسین‌ها در ایجاد و همچنین طول و قطر ریشه‌های جدید موجب کاهش وزن تر و خشک در قلمه‌ها می‌شود، به‌طوری که به‌کارگیری غلظت بالای اکسین‌ها روی قلمه‌های نیمه‌خشبی که خود توانایی تولید اکسین و جذب بالای آن را به علت وجود سلول‌هایی که از نظر متابولیسمی فعال‌تر هستند و دیواره سلولی آنها به میزان کمتری چوبی شده است، دارند می‌تواند از نمو جوانه‌ها و حتی نمو بافت‌های بالغ شاخساره‌ها جلوگیری کند (Shoanef *et al*., 2014). در صورتی که مصرف هورمون در هنگام ریشه‌زایی بیش از حد نیاز باشد، علاوه بر افزایش هزینه، سبب برهم زدن تعادل هورمونی در گیاه می‌شود. بنابراین اهمیت تعیین بهترین غلظت هورمون برای تکثیر گونه‌های مختلف گیاهی کاملاً مشخص است.

وزن خشک قلمه

مقایسه میانگین اثر IBA نشان داد که با افزایش سطوح کاربرد این هورمون، وزن خشک قلمه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و حداکثر وزن خشک در سطح ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌دست آمد (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر NAA نشان داد که اگرچه سطح ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر این هورمون بیشترین وزن خشک قلمه را تولید کرد اما به لحاظ آماری با سایر سطوح کاربردی اختلاف

معنی‌داری نشان نداد (جدول ۸)، میانگین اثر متقابل IBA و NAA بر وزن خشک قلمه نیز نشان داد که بیشترین وزن خشک قلمه (۹/۱۵ گرم) از تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌دست آمد (جدول ۹). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر IBA و اثر متقابل سطوح IBA و NAA بر وزن خشک قلمه معنی‌دار بود (جدول ۶).

رشد در گیاه تابع تقسیم سلول و طویل‌شدن سلول است و عوامل متعددی رشد را تحریک می‌کنند. هورمون‌های محرک رشد با رفع موانع رشد و فعال‌سازی برخی از مسیرهای بیوشیمیایی و آنزیم‌ها، رشد را تحریک می‌کنند. داوری‌نژاد و همکاران (Davarynejad *et al.*, 2015) در مطالعه اثر IBA بر ریشه‌زایی قلمه‌های هیبریدی هلو و بادام به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت هورمون تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش وزن تر و خشک قلمه‌ها گردید که با نتایج مطالعه حاضر سازگار است.

ارتفاع قلمه

ارتفاع قلمه گلابی تحت تاثیر IBA و NAA قرار گرفت. در مجموع تیمارها، بلندترین ارتفاع قلمه (۸۲/۲ سانتی‌متر) در تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA تولید شد. کوتاه‌ترین ارتفاع قلمه نیز از تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌دست آمد (جدول ۹). مقایسه میانگین اثر IBA روی ارتفاع قلمه نشان داد که بلندترین ارتفاع در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن در سطح ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر این ماده مشاهده شد که با یکدیگر اختلاف معنی-داری داشتند (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر NAA نیز نشان داد که کوتاه‌ترین ارتفاع قلمه از سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بلندترین آن از غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد که سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با سایر سطوح اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۸). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر IBA و NAA و اثر متقابل این دو هورمون بر ارتفاع قلمه معنی‌دار بود (جدول ۶).

یکی از آثار مهم اکسین‌ها تأثیر بر طول ساقه‌چه می‌باشد (Mirsoleimani and Rahemi, 2007). بنابراین، کاربرد هورمون‌های محرک رشد در چند مرحله می‌تواند در استقرار و افزایش طول گیاهچه مفید باشد (Bragt *et al.*, 2001). در این زمینه زرین‌بال و همکاران (Zarinbal *et al.*, 2006) گزارش کردند که درصد ریشه‌زایی قلمه‌ها، تعداد برگ و طول ساقه در قلمه‌های شیشه‌شور که با اکسین تیمار شده بودند، به طور معنی‌داری بیشتر از قلمه‌های شاهد بود. معلمی و چهرازی (Moallemi and Chehrazi, 2004) در آزمایشی با استفاده از هورمون‌های اکسین روی قلمه‌های برگ‌دار و بدون برگ گل کاغذی ضمن به‌دست آوردن نتایج مشابه اعلام کردند که با سطوح مختلف هورمون اکسین، صفاتی نظیر درصد ریشه‌زایی، تعداد و وزن ریشه و طول ساقه‌های جدید نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

تعداد برگ

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر IBA و اثر متقابل سطوح IBA و NAA بر تعداد برگ معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر IBA نشان داد که سطوح کاربردی IBA نسبت به سطح عدم کاربرد آن (I_0) به طور معنی‌داری منجر به افزایش تعداد برگ شد اما بین سطوح کاربرد IBA به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر NAA نشان داد که اگرچه سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA بیشترین تعداد برگ را تولید کرد اما به لحاظ آماری با سایر سطوح کاربردی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۸). مقایسه میانگین اثر متقابل این دو هورمون نیز نشان داد که بیشترین تعداد برگ با میانگین ۹/۹۳ از تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌همراه ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌دست آمد (جدول ۹).

بلایت و همکاران (Blythe *et al.*, 2004) بیان کردند که به‌کارگیری اکسین‌های سنتزشده با غلظت بالا روی قلمه‌های ساقه می‌توانند از نمو جوانه‌ها و حتی نمو شاخساره جلوگیری کند. غلظت‌های بالا در این آزمایش نیز رابطه مثبتی با هم نشان ندادند و در اغلب صفات بیشترین میانگین صفات در حضور غلظت بالای IBA و غلظ پایین NAA به‌دست آمد. در ارتباط با تولید برگ، بیشترین تعداد برگ از تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌همراه ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌دست آمد که می‌توان نتیجه گرفت که برای صفت تعداد برگ یا افزایش تولید برگ، سطوح بالاتر دو هورمون تأثیر بیشتری دارد. در مطالعه بیابانی و شکافنده (Biabani and Shekafandeh, 2011) تیمار NAA با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و IBA با غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین درصد ریشه‌زایی و تعداد برگ را در قلمه‌های ساقه چوب نیمه‌خشبی و خشبی گیاه انار شیطان باعث شد. علی‌زاده و گریگوریان (Alizadeh and Grygoorian, 2001) گزارش کردند که تیمار با مواد تنظیم‌کننده رشد باعث افزایش تعداد برگ و ریشه و کاهش طول ریشه می‌شود در حالی‌که شاه‌حسینی و همکاران (Shahhoseini *et al.*, 2015) بالاترین طول ریشه و تعداد برگ گیاه رزماری را در غلظت‌های پایین هر دو تنظیم‌کننده رشد به‌دست آورد. خوشخوی و پناهی (Khoshkhoi and Panahi, 1997) علت اثر مثبت این مواد تنظیم‌کننده در ریشه‌زایی را با تاثیر اکسین‌ها در تحریک تقسیم اولین یاخته‌های آغازگر ریشه مرتبط دانستند.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف IBA و NAA بر حجم ریشه، وزن تر و خشک قلمه، ارتفاع گیاهچه و تعداد برگ قلمه‌های گلابی رقم 'بارتلت'

Table 6– The ANOVA results forthe effect of different levels of IBA and NAA on root volume, fresh and dry weights, plantlet height and leaf number of *Pyrus communis* cv. 'Bartlet' cuttings

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	تعداد برگ Leaf number	ارتفاع گیاهچه Plantlet height	وزن خشک قلمه Cutting dry weight	وزن تر قلمه Cutting fresh weight	حجم ریشه Root volume
تکرار Replication	1	0.522^{ns}	31.02^{ns}	2.41^{ns}	31.90^{ns}	1.695^{ns}
ایندول بوتیریک اسید IBA (I)	3	5.82^{**}	315.00^{**}	30.02^{**}	472.00^{**}	5.065^{**}
نفتالین استیک اسید NAA (N)	3	0.972^{ns}	189.00^{*}	5.54^{ns}	39.70^{*}	1.524^{ns}
I × N	9	4.156^{**}	480.00^{**}	6.841^{*}	76.50^{**}	0.292^{ns}
خطا Error	30	0.885	54.20	2.87	12.06	0.629
ضریب تغییرات C.V (%)	-	13.03	17.59	36.90	16.60	26.50

** و * به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد. ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

** and * Significant at the 1% and 5% of probability levels, respectively. ns Non-significant.

جدول ۷- اثر سطوح مختلف IBA بر حجم ریشه، وزن تر و خشک قلمه، ارتفاع گیاهچه و تعداد برگ قلمه‌های گلابی رقم 'بارتلت'

Table 7– The effect of different levels of IBA on root volume, fresh and dry weights, plantlet height and leaf number of *Pyrus communis* cv. 'Bartlet' cuttings

ایندول بوتیریک اسید IBA ($mg.l^{-1}$)	تعداد برگ Leaf number	ارتفاع گیاهچه Plantlet height (cm)	وزن خشک قلمه Cutting dry weight (g)	وزن تر قلمه Cutting fresh weight (g)	حجم ریشه Root volume (cm^3)
0	6.23b	40.75bc	2.73c	11.86c	2.24c
1000	7.45a	47.58a	4.06bc	21.73b	2.69bc
2000	7.33a	43.66ab	5.10ab	26.11a	3.30ab
4000	7.86a	35.41c	6.46a	23.57ab	3.70a

حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD را نشان می‌دهد.

In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5% of probability level based on LSD test.

جدول ۸- اثر سطوح مختلف NAA بر حجم ریشه، وزن تر و خشک قلمه، ارتفاع گیاهچه و تعداد برگ قلمه‌های گلابی رقم 'بارتلت'

Table 8– The effect of different levels of NAA on root volume, fresh and dry weights, plantlet height and leaf number of *Pyrus communis* cv. 'Bartlet' cuttings

نفتالین استیک اسید NAA ($mg.l^{-1}$)	تعداد برگ Leaf number	ارتفاع گیاهچه Plantlet height (cm)	وزن خشک قلمه Cutting dry weight (g)	وزن تر Cutting fresh weight (g)	حجم Root volume (cm^3)
0	6.85a	43.41a	4.12a	18.60b	2.56a
1000	7.50a	35.91b	4.25a	23.00a	3.05a
2000	7.15a	44.08a	5.60a	20.40ab	3.42a
4000	7.37a	44.00a	4.38a	21.30ab	2.90a

حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD را نشان می‌دهد.

In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5% of probability level based on LSD test.

همبستگی بین صفات

از آنجا که مهم‌ترین صفت در آزمایش‌های مربوط به ازدیاد گیاهان، ریشه‌زایی می‌باشد، از این رو در بررسی همبستگی صفات رابطه‌ی دیگر صفات و صفات تأثیرگذار بر این صفت ارزیابی شد.

جدول ۹- اثر سطوح مختلف IBA × NAA بر حجم ریشه، وزن تر و خشک قلمه، ارتفاع گیاهچه و تعداد برگ قلمه‌های گلابی رقم 'بارتلت'

Table 9– The effect of different levels of IBA ×NAA on root volume, fresh and dry weight, plantlet height and leaf number of *Pyrus communis* cv. 'Bartlet' cuttings

ایندول بوتیریک اسید × نفتالین استیک اسید IBA × NAA (mg.l^{-1})	تعداد برگ Leaf number	ارتفاع گیاهچه Plantlet height (cm)	وزن خشک قلمه Cutting dry weight (g)	وزن تر Cutting fresh weight (g)	حجم Root volume (cm^3)
I_0N_0	4.46d	55.33efgh	1.53d	11.18f	1.83d
I_0N_{1000}	6.40c	68.66bcd	2.65cd	18.45e	2.50cd
I_0N_{2000}	7.63bc	64.33cdef	4.10bcd	11.01f	2.46cd
I_0N_{4000}	6.43c	54.66efgh	2.65cd	6.73f	2.16cd
$I_{1000}N_0$	7.33bc	56.00efg	1.56d	19.66cde	2.50cd
$I_{1000}N_{100}$	7.66bc	56.66defg	4.30bcd	23.98bcde	2.86bcd
$I_{1000}N_{2000}$	7.53bc	82.33a	5.93b	24.33bcd	2.83bcd
$I_{1000}N_{4000}$	7.26bc	75.33abc	4.46bc	18.95de	2.56cd
$I_{2000}N_0$	7.76bc	66.33bcde	4.76bc	20.28cde	2.76bcd
$I_{2000}N_{1000}$	7.63bc	54.66efgh	4.43bc	26.40b	3.03bcd
$I_{2000}N_{2000}$	6.80bc	56.00efg	6.56ab	21.36bcde	3.96ab
$I_{2000}N_{4000}$	9.93a	77.66b	9.15a	36.83a	3.46abc
$I_{4000}N_0$	7.13bc	76.00abc	4.65bc	23.36bcde	3.16abc
$I_{4000}N_{1000}$	8.30b	43.66h	5.13bc	23.16bcde	3.20abc
$I_{4000}N_{2000}$	6.66c	53.66fgh	5.80b	25.00bc	4.43a
$I_{4000}N_{4000}$	6.56c	48.33gh	5.78b	22.71bcde	4.03ab

حروف مشترک در هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD را نشان می‌دهد.

In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5% of probability level based on LSD test.

جدول ۱۰- همبستگی ساده بین صفات اندازه‌گیری‌شده در قلمه‌های ریشه‌دارشده گلابی رقم 'بارتلت'

Table 10- The simple correlation between measured traits of rooted cuttings of *Pyrus communis* cv. 'Bartlet'

درصد ریشه‌زایی Rooting percentage	زمان ریشه‌زایی Rooting time (day)	تعداد ریشه Root number	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root volume (cm^3)	وزن تر قلمه Cutting fresh weight (g)	وزن خشک قلمه Cutting dry weight (g)	ارتفاع گیاهچه Plantlet height (cm)	تعداد برگ Leaf number
درصد ریشه‌زایی Rooting percentage	1							
زمان ریشه‌زایی Rooting time (day)	0.291*	1						
تعداد ریشه Root number	0.215	0.06	1					
طول ریشه Root length (cm)	0.334*	–0.009	0.286*	1				
حجم ریشه Root volume (cm^3)	0.393**	0.071	0.424*	0.174	1			
وزن تر قلمه Cutting fresh weight (g)	0.471**	0.18	0.600**	0.387**	0.300*	1		
وزن خشک قلمه Cutting dry weight (g)	0.590**	0.346*	0.293*	0.304*	0.265	0.761**	1	
ارتفاع گیاهچه Plantlet height (cm)	0.113	–0.215	0.219	0.279	–0.044	0.156	0.206	1
تعداد برگ Leaf number	0.519**	0.056	0.273	0.251	0.167	0.237	0.520**	0.266

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

** and * Significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.

نتایج حاصل از همبستگی ساده بین صفات نشان داد که درصد ریشه‌زایی با زمان ریشه‌زایی (*r = ۰/۲۹۱)، طول ریشه (*r = ۰/۳۳۴)، حجم ریشه (**r =۰/۳۹۳)، وزن تر قلمه (**r = ۰/۴۷۲)، وزن خشک قلمه (**r= ۰/۵۹۰) و تعداد برگ (**r = ۰/۵۱۰) همبستگی مثبت معنی‌داری داشت و بیشترین همبستگی را با صفت وزن خشک قلمه (**r = ۰/۵۹۰) نشان داد. وزن خشک قلمه نیز با صفات زمان ریشه‌زایی، تعداد ریشه، طول ریشه و وزن تر قلمه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۱۰).

بنابراین، هر عاملی که بتواند طول دوره‌ی ریشه‌زایی را بهبود بخشد منجر به افزایش ریشه‌زایی نیز خواهد شد. ریشه‌زایی قلمه‌ها توسط تعداد زیادی از فاکتورها کنترل می‌شود که فقدان آنها می‌تواند ریشه‌زایی را محدود کند (Polat and Caliskan, 2009). اگرچه در فرآیند ریشه‌زایی عوامل محیطی و بیوشیمیایی زیادی دخیل هستند اما تغذیه پایه مادری که قلمه از آن تهیه شده، نوع رقم، زمان برداشت قلمه و طول و قطر قلمه نیز اهمیت زیادی در ریشه‌زایی قلمه دارند که می‌توانند بر اثربخشی هورمون‌های به کاربرده شده تأثیرگذار باشند (Melgarejo *et al*., 2000). همبریک و همکاران (Hambrick *et al*., 1991) بیان کردند که زمان گرفتن قلمه‌ها بر ریشه‌زایی آنها اثر می‌گذارد و نشان دادند که قلمه‌های جمع‌آوری‌شده در پایان فوریه (زمستان) ریشه‌زایی بیشتری نسبت به آنهایی که در اوایل اکتبر (پاییز) جمع‌آوری شدند، داشتند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح مختلف IBA و NAA بر همه صفات اندازه‌گیری‌شده به جز حجم ریشه معنی‌دار بود. بیشترین درصد ریشه‌زایی از تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA، کوتاه‌ترین زمان ریشه‌زایی از تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌همراه ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA، بیشترین تعداد ریشه از تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌همراه ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA، بلندترین ریشه در تیمار۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌همراه ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA، بیشترین وزن تر و خشک قلمه از تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA، بلندترین قلمه از تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA و بیشترین تعداد برگ از تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA همراه با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA، به‌دست آمد. بنابراین، زمانی حداکثر ریشه‌زایی حاصل می‌گردد که گیاهان فقط با ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA تیمار شدند، اما بیشترین تعداد ریشه از گیاهان تیمار شده با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر IBA به‌همراه ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA به‌دست آمد که بسته به هدف آزمایش می‌توان بهترین تیمار مورد نظر را توصیه نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت برای حمایت‌های لازم از این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Aboutalebi, A., & Tafazoli, E. (2006). Effect of cutting time and auxin on rooting of sweet lime (*Citrus limetta*). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 13*(5): 29-34. (In Persian)
2. Alizadeh, A., & Grygoorian, V. (2001). Investigating the effect of rooting of semi-wooden peach and almond hybrid cuttings in foggy conditions. *Journal of Horticultural Science and Technology 2*(3-4): 143-154. (In Persian)
3. Almeida, F.D., Xavier, A., Dias, G.M.M., & Paiva, H.N. (2007). Auxin (IBA and NAA) effects on minicuttings rooting of *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. Clones. *Revista Árvore 31*(3): 455-463. https://doi.org/10.1590/s0100-67622007000300011.
4. Beretta, D., Vanoli, M., & Eccher, T. (2004). The influence of glucose, vitamins and IBA on rooting of Camellia shoots in vitro. *Acta Horticulturae* 227: 473–475. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1988.227.97.
5. Biabani, A., & Shekafandeh, A. (2011). Rooting of pomegranate branches of Rabab cultivar using indole butyric acid and naphthalene acetic acid under controlled conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 12*(3): 293-306. (In Persian with English abstract)
6. Biasi, R., Marino, G., & Costa, G. (1990). Propagation of Hayward (*Actinidia deliciosa*) from soft and semi-hardwood cuttings. *Acta Horticulturae* 282: 243-250. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.282.31.
7. Blazich, F.A. (1989). *Mineral nutrition and adventitious rooting. In: Adventitious Root Formation in Cuttings* (Eds. Davis T.D., Haissig B.E., and Sankhla S.) 61-69. Dioscorides Press, Portland, OR.

8. Blythe, E.K., Sibley, J.L., Ruter, J.M., & Tilt, K.M. (2004). Cutting propagation of foliage crops using a foliar application of auxin. *Scientia Horticulturae* 103: 31-37. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.011.
9. Bragt, J., VanGelder, H., & Pierhk R.L.M. (2001). Rooting of shoot cuttings of ornamental shrubs after immersion in auxin-containing solutions. *Scientia Horticulturae* 4: 91-94. https://doi.org/10.1016/0304-4238(76)90070-4.
10. Brondani, G.E., Baccarin, F.J.B., Ondas, H.W.W., Stape, J.L., Gonçalves, A.N., & Almeida M.D. (2012). Low temperature, IBA concentrations and optimal time for adventitious rooting of *Eucalyptus benthamii* mini-cuttings. *Journal of Forestry Research 23*(4): 583-592. https://doi.org/10.1007/s11676-012-0298-5.
11. Cangi, R., Bostan, S.Z., & Yýlmaz, M. (2001). The effects of different treatments on the rooting of hardwood cuttings of Hayward kiwi cultivar. *OMUZF Dergisi* 16: 35-37.
12. Copes, D.L., & Mandel, N.L. (2000). Effects of IBA and NAA treatments on rooting douglas-fir stem cuttings. *New Forests* 20: 249-257.
13. Corrêa, L.R., & Fett-Neto, A.G. (2004). Effects of temperature on adventitious root development in microcuttings of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus globulus* Labill. *Journal of Thermal Biology 29*(6): 315-324. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2004.05.006.
14. Davarynejad, Gh., Shokouhian, A.A., & Tehranifar A. (2015). Effect of IBA and medium on rooting of two new selected peach × almond hybrids cuttings. *Journal of Horticulture Science 29*(2): 176-184. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.27561.
15. Davidović, V., Popović, R., & Radulović M. (2015). Influence of IBA and NAA (0.8%) + (IBA 0.5%) phytoregulators to the risogenesis of the mature lemon tree-shoots (*Citrus limon* (L.) Burm. and *Citrus meyearii* Y. Tan.). *Agriculture & Forestry 61*(2): 243-250.
16. Denaxa, N.K., Vemmos, S.N., & Roussos, P.A. (2012). The role of endogenous carbohydrates and seasonal variation in rooting ability of cuttings of an easy and a hard to root olive cultivars (*Olea europaea* L.). *Scientia Horticulturae* 143: 19-28. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.026.
17. Ferri, V.C., Kersten, E., & Machado, A.A. (1996). Effect of indole-3-butyric acid on the rooting of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Hayward cultivar. *Revista Brasileira de Agrociência* 2: 63-66.
18. Habibi Kootenaee, Sh. (2010). Effect of different concentrations of auxin on rooting of semi-dry cuttings of *Nerium oleander*. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research 5*(2): 36-46. (In Persian)
19. Hadad, E. (2000). *The effect of auxin (IBA) and the length of cuttings in Camellia rooting*. Proceedings of the 2th Iranian Horticultural Sciences Congress. Agricultural Education Publishing. (In Persian)
20. Hambrick, C.E., Davies, F.T., & Pemberton, H.B. (1991). Seasonal changes in carbohydrate nitrogen levels during field rooting of *Rosa multifora* 'Brooks 56' hardwood cuttings. *Scientia Horticulturae* 46: 137-146. https://doi.org/10.1016/0304-4238(91)90099-K.
21. Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davis, F.T., & Genere R.L. (1997). *Plant Propagation: Principles and Practices* (6th ed.). Prentice Hall Intl. INC, USA.
22. Hashemabadi, D., & Sedaghathoor Sh. (2006). The effect of artificial auxin IBA and NAA on rooting cuttings of *Camellia japonica*. *Journal of Modern Agricultural Knowledge, Islamic Azad University, Mianeh Branch 2*(5): 75-82. (In Persian)
23. Hedayat, M., & Abdi Gh. (2007). *Effect of culture media and different growth regulators on rooting of Agave attunatha*. Proceedings of the 6th Iranian Congress of Horticultural Sciences, Rasht, Guilan University. (In Persian)
24. Jafari, M., & Bouzari, N. (2010). Effect of different times of collection and hormone concentrations on rooting of hard and semi-hard wood cuttings in Gisela 6 cherry rootstock. *Seed and Plant Production Journal 26*(3): 343-357. (In Persian)
25. Jull, L.G., Warren, S.L., & Blazich F.A. (1994). Rooting yoshino cryptomeria stem cutting as influenced by growth stage, branch order IBA treatment. *Scientia Horticulturae 29*(12): 1532-1535. https://doi.org/10.21273/hortsci.29.12.1532.
26. Khoshkhoi, M. (1999). *Plant propagation*. Shiraz University Press. (In Persian)
27. Khoshkhoi, M., & Panahi R. (1997). The effect of auxins on rooting and flowering of two cultivars of clove. *Journal of Horticultural Science and Technology 1*(3-4): 91-108. (In Persian)
28. Kroin, J. (1992). Advances using indole-3-butyric acid (IBA) dissolved in water for rooting cuttings, transplanting, and grafting. *Combined Proceedings International Plant Propagators' Society* 42: 488-492.
29. Melgarejo, P., Martinez, J., Amoros, A., & Martinez, R. (2000). Study of the rooting capacity of ten pomegranate

clones (*Punica granatum L*.). *Advances in Science and Technology 42*(1): 253-259.
30. Mirsoleimani, A., & Rahemi, M. (2007). The effect of two synthetic auxins on rooting of peach and almond hardwood hybrid cuttings in open space. *Pajouhesh & Sazandegi* 76: 89-96. (In Persian)
31. Moallemi, N., & Chehrazi, M. (2004). The effect of the hormone auxin on the rooting of leafy, leafless cuttings of *Bougainvilliea spectabillis* L. in a plastic tunnel. *The Scientific Journal of Agriculture 27*(2): 127-138. (In Persian)
32. Ozelbaykal, S., & Gezerel, O. (2005). The effects of the different doses of IBA (indol butyric acid) on the rooting performances in the reproduction of Gemlik and Domat olive trees by using the green twig procedure in the ecology of Cukurova region. *Journal of Central European Agriculture 6*(4): 481-484.
33. Polat A.A., & Caliskan, O. (2009). Effect of indolebutyric acid (IBA) on the rooting cutting in various pomegranate genotypes. *Acta Horticulturae 818*(27): 187-192. https://doi.org/10.17660/actahortic.2009.818.27.
34. Rahdari, P., Mahna, M., & Asadi M. (2010). Effect of zinc sulfate and NAA and IBA hormones on rooting of semi-partial cuttings of *Azalea* plant and its environmental effects. *Journal of Science and Technology of Natural Resources, Islamic Azad University, Chalous Branch 5*(1): 95-103. (In Persian)
35. Ramezani, M., Talaee, A., Eghdami, M.T., & Bonyadi I. (2005). Investigation of some factors influencing the rooting of semi-irrigated cuttings of hard-rooted olive cultivars. *Pajouhesh & Sazandegi Journal 18*(1): 74-88. (In Persian)
36. Razaghi, M., Rabiee, V., & Sedaghathoor, Sh. (2010). The effect of different concentrations of IBA, NAA and their interactions on the rooting of semi-hardwood cuttings of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward). *Journal of Plant Productions 33*(1): 87-96. (In Persian)
37. Rizi, S., Naderi, R., Khalighi, A., Zamani, Z., & Saee A. (2006). The effect of different treatment regulators on growth and timing of cuttings in the vegetative increase of cuttings of three species of ornamental noel. *Iranian Journal of Agricultural Sciences 7*(4): 719-725. (In Persian)
38. Shahhosseini, A., & Shahsavar, A.R. (2017). Effect of indole-3-butyric acid (IBA) on rooting of date palm (*Phoenix dactylifera* L. 'Kabkab') off-shoots. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 18*(3): 251-258. (In Persian)
39. Shahhoseini, R., Moghaddam, M., Kiani, D., & Mansori, R. (2015). Effect of different concentrations of IBA and NAA on rooting of semi-hardwood cuttings of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31*(4): 574-586. (In Persian)
40. Shirzadi, M.H. (2007). *Investigating the effects of cuttings type and how to plant and different concentrations of indole butyric acid in rooting of pomegranate cuttings of Jahrom local cultivar*. Proceedings of the 5th Congress of Horticultural Sciences, Shiraz University.
41. Shoanef, K.W., Sakinoa, V.N., Bheta, F.M., & Affalais, J. (2014). Comparison of four moisture management systems for cutting propagation of *Bougainvillea*, *Hibiscus* and Kei apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science 120*(3): 366-373. https://doi.org/10.21273/JASHS.120.3.366.
42. Singh, K.K., Choudhary, T., & Kumar, A. (2014). Effect of various concentrations of IBA and NAA on the rooting of stem cuttings of mulberry (*Morus alba* L.) under mist house condition in Garhwal hill region. *Indian Journal of Hill Farming 27*(1): 74-77.
43. Stape, J.L., Gonçalves, J.L.M., & Gonçalves, A.N. (2001). Relationships between nursery practices and field performance for *Eucalyptus* plantations in Brazil. *New Forests 22*(1-2): 19-41. https://doi.org/10.1023/A:1012271616115.
44. Ucler, A., Parlak, S., & Yucesan, Z. (2004). Effects of IBA and cutting dates on the rooting ability of semi-hardwood kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) cuttings. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 28: 195-201.
45. Vatandoost Jartoodeh, S., Davarinejad, Gh., Tehranifar, A., & Kaveh, H. (2011). The effect of auxin treatments and type of cuttings on rooting cuttings of Natanz, Sabri and Shokri pear cultivars. *Journal of Horticultural Science 25*(1): 38-44. (In Persian)
46. Wendling, I., & Xavier, A. (2005). Indolbutiric acid and serial minicutting technique on rooting and vigor of *Eucalyptus grandis* clone minicuttings. *Revista Árvore 29*(6): 921-930. https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000600011.
47. Yousefi, F. (2010). *Effect of different concentrations of IBA and NAA on rooting of olive cuttings*. Proceedings of the 2th Congress of Plant Production Sciences, Mashhad, Iran.
48. Zarinbal, M., Moallemi, N., & Daneshvar, M.H. (2005). Effect of different auxin concentrations, cutting time and environmental conditions on rooting of *Citrus maxima* semi-irrigated cuttings. *Journal of Agricultural Knowledge 15*(2): 13-26. (In Persian)